"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و پنجم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

ارزیابی عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط کم نهاده

Evaluation of grain yield and nitrogen use efficiency indices of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes under low input conditions

محمد عطارزاده[۱]، سعیده ملکی فراهانی[۲] و مریم میردورقی[۳]

چکیده

عطارزاده، م.، س. ملکی فراهانی و م. میردورقی. ۱۴۰۲. ارزیابی عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط کم نهاده. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۵ (۳): ۴۲۲ -۴۰۵.**

نیتروژن یکی از عناصر غذایی مهم لازم برای تولید محصولات کشاورزی است، اما مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار و آبشویی آن باعث آلودگی محیط می‌شود. استفاده از ارقام با کارایی بالا در جذب و مصرف نیتروژن، یکی از روش‌های ممکن برای حل این مسئله است. به‌منظور ارزیابی عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن در ژنوتیپ‌های جو در شرایط کم نهاده (بدون مصرف کود)، آزمایشی با استفاده از ۳۶ ژنوتیپ جو خالص‌سازی شده در سال زراعی ۹۶ –۱۳۹۵ در قالب طرح آلفا لاتیس ساده با دو تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد- تهران انجام شد. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۰۶، ۱۰۷ و ۶۸ دارای بیشترین عملکرد دانه (به‌ترتیب ۷۹۶۳، ۷۹۲۰ و ۷۹۰۰ کیلوگرم در هکتار)، بالاترین کارایی مصرف نیتروژن (به‌ترتیب ۵۸/۶، ۵۸/۵ و ۵۶/۹ کیلوگرم بر کیلوگرم) و بالاترین کارایی جذب نیتروژن (به‌ترتیب ۲، ۲ و ۲/۲۵ کیلوگرم بر کیلوگرم) بودند. نتایج تجزیه رگرسیون چندگانه نشان داد که سه متغیر کارایی مصرف نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن و عملکرد زیست‌توده در مجموع ۹۸/۲ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. براساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ژنوتیپ‌های جو مورد بررسی به چهارگروه تقسیم شدند. گروه اول شامل ژنوتیپ‌های ۸۸، ۱۱۹، ۵۴، ۱۰۷و ۶۸ از لحاظ شاخص‌های کارایی جذب و مصرف نیتروژن، عملکرد و کیفیت دانه برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند. نتایج این آزمایش نشان داد که در شرایط کم‌نهاده می‌توان از ژنوتیپ‌های برتر منتخب جهت افزایش کارایی مصرف نیتروژن استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: جو، کارایی جذب نیتروژن، کمبود نیتروژن، تجزیه رگرسیون چندگانه و عملکرد زیست توده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹
این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول می‌باشد

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران، ایران
۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران، ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: maleki@shahed.ac.ir)
۳- دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران، ایران

Evaluation of grain yield and nitrogen use efficiency indices of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes under low input conditions

Attarzadeh, M.[1], Maleki Farahani, S.[2] and Mirdoraghi, M.[3]

ABSTRACT

Attarzadeh, M., Maleki Farahani. S. and Mirdoraghi, M. 2024. Evaluation of grain yield and nitrogen use efficiency indices of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes under low input conditions. **Iranian Journal of Crop Sciences. 25(3): 405-422. (In Persian)**

Introduction: Nitrogen is one of the important nutrient elements necessary for the production of agricultural products, but the excessive application of nitrogenous chemical fertilizers and their leaching cause environmental pollution. Crops' cultivars with high nitrogen use efficiency is one of the environmental friendly aproaches to mitigate this problem.

Materials and Methods: To evaluate grain yield and nitrogen use efficiency in barley genotypes under low input conditions (without fertilizer application), a field experiment was conducted in research field of the agricultural faculty of Shahed University, Tehran, Iran in 2016-2017 cropping season. Thirty six barley genotypes, purified for three cropping seasons, were planted using simple alpha lattice design with two replications.

Results: The results showed that genotypes; 106, 107, and 68 had the highest grain yield (7963, 7920 and 7900 kg ha^{-1}, respectively), the highest nitrogen use efficiency (58.6, 58.5 and 56.9 $kg.kg^{-1}$, respectively) and the highest nitrogen uptake efficiency (2, 2 and 2.25 $kg.kg^{-1}$, respectively). The results of multiple regression analysis showed that the three variables of nitrogen use efficiency, nitrogen uptake efficiency, and biomass yield explained 98.2% of variation in grain yield. Principle component analysis revealed that barely genotypes divided into four groups. The first group included genotypes; 88, 119, 54, 107, and 68 for nitrogen uptake efficiency and nitrogen use efficiency, grain yield and quality. These genotypes are suitable for low input cropping systems to increase nitrogen use efficiency.

Conclusion: The results of this experiment indicated that further investigations are required for recommendation of barley genotypes with higher nitrogen efficiency and grain yield for low input cropping systems.

Key words: Barley, Biomass yield, Multiple regression analysis, Nitrogen deficiency and Nitrogen uptake efficiency

Received: November, 2023 **Accepted: March, 2024**

1. MSc Student, University of Shahed, Tehran, Iran
2. Associate Prof., University of Shahed, Tehran, Iran. (Corresponding author) (Email: maleki@shahed.ac.ir)
3. PhD Student, University of Shahed, Tehran, Iran

مقدمه

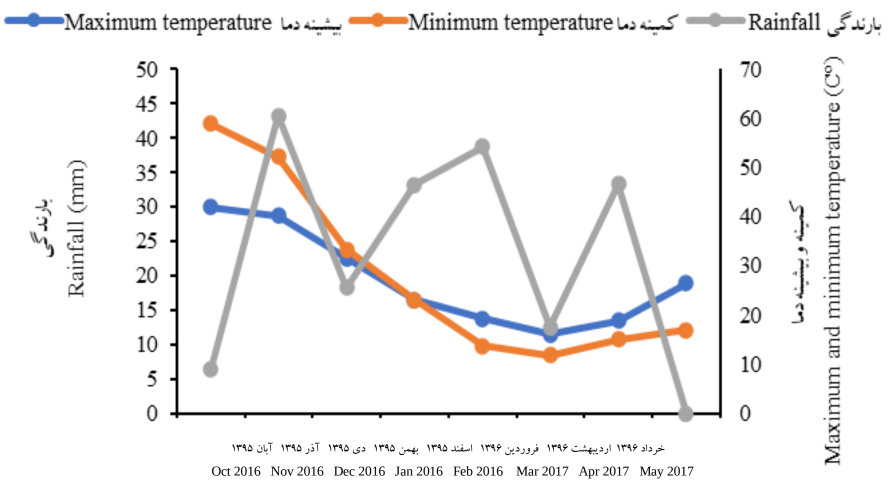
جو (*Hordeum vulgare* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که به دلیل سازگاری وسیع بوم‌شناختی، وسعت سطح زیر کشت و میزان تولید ۱۵۹ میلیون تن، یکی از گیاهان زراعی مهم بعد از گندم، ذرت و برنج برای مصارف انسانی و دامی محسوب می‌شود (FAO, 2019). سطح زیر کشت جو در ایران حدود ۱/۶۸۴/۷۱۴ میلیون هکتار (جو آبی حدود ۷۴۹/۷۲۴ و جو دیم حدود ۹۳۴/۹۹۰ هزار هکتار) و میزان محصول آن حدود ۳/۱۷۶/۵۰۲ میلیون تن دانه است (Anonymous, 2022). گیاه جو نسبت به سایر گیاهان خانواده غلات تحمل بیشتری به خشکی، شوری و قلیاییت خاک دارد (Nassir, 2001). دانه جو با توجه به محتوای پروتئین و اسیدآمینه لایسین بالا، مهم‌ترین ماده غذایی در جیره غذایی دام‌ها محسوب می‌شود (Hassani and Amiri, 2016). به موازات رشد جمعیت جهان، نیاز به غذا افزایش یافته و استفاده از روش‌های نوین کشاورزی برای بهبود حاصلخیزی خاک ضرورت یافته است. حفظ و بهبود حاصلخیزی خاک در بوم نظام‌های کشاورزی عمدتا وابسته به استفاده از کودها و سایر نهاده‌های شیمیایی است. در نظام‌های کشاورزی پایدار، کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی مورد توجه بوده و نظام کشاورزی پایدار کم‌نهاده، بخشی از کشاورزی پایدار است که در آن نهاده‌های شیمیایی (کودها و سموم شیمیایی) در حداقل مقدار مصرف می‌شوند. این شیوه باعث کاهش آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، کاهش بقایای سموم در مواد غذایی، کاهش هدرروی آب و خاک و افزایش سودآوری در درازمدت می‌شود (Ommani and Chizari, 2006). در بسیاری از موارد، فشرده‌سازی نظام‌های کشاورزی باعث افزایش مورد انتظار در عملکرد و دستیابی به عملکرد قابل حصول نشده است. در بسیاری از این نظام‌ها، مدیریت‌های زراعی بهینه به طور کامل اجرا نمی‌شوند، درحالی‌که اجرای مدیریت‌های بهینه، بدون افزایش میزان مصرف نهاده‌ها، می‌تواند کمک مهمی به تولید محصول نماید. در شرایط بالا بودن خلاء عملکرد (اختلاف بین عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل)، افزایش تولید با ثابت نگه داشتن مصرف منابع، نقش مهمی در نظام‌های تولید دارد (Kamkar *et al.*, 2007).

یکی از عناصر غذایی ضروری برای تولید محصولات کشاورزی نیتروژن است که مقدار آن در خاک معین و متفاوت است (Mohammadpour *et al.*, 2022)، اما مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار و آبشویی آن باعث آلودگی محیط می‌شود (Sadeghi PourMarvi, 2010). این موضوع باعث شده است که در اصلاح و آزادسازی ارقام جدید گیاهان زراعی، موضوع کاهش هزینه‌ها و جلوگیری از آلودگی محیط زیست مورد توجه قرار گیرد (Muurinen *et al.*, 2006). یکی از روش‌های ممکن برای حل این مسئله، انتخاب ارقامی است که از نیتروژن به شکل مؤثرتری استفاده کرده و کارایی مصرف نیتروژن بالاتری دارند. کارایی مصرف نیتروژن به صورت نسبت عملکرد دانه به مقدار نیتروژن مصرفی نشان داده شده و از شاخص‌های بسیار مهم در مدیریت مصرف نیتروژن در تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود. کارایی مصرف نیتروژن به عواملی از مانند زمان، مقدار، نوع و روش مصرف کود، رقم، میزان بارندگی و سایر متغیرهای مربوط به اقلیم بستگی دارد (Houshmandfar *et al.*, 2008). در به‌نژادی غلات، انتخاب ژنوتیپ‌هایی با کارایی مصرف نیتروژن بالا و محتوای پروتئین دانه بالا مورد توجه است (Shanahan *et al.*, 2008). نتایج یک آزمایش روی ارقام گندم دوروم نشان داد که در شرایط کمبود نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن ارقام تفاوت محسوسی نداشت (Giambalwo *et al.*, 2010). گزارش شده است که بالاتر بودن کارایی مصرف نیتروژن در برخی از ارقام جو به‌علت بالاتر بودن کارایی تبدیل

نیتروژن در آنها است (Beatty *et al.*, 2010). بر اساس نتایج یک آزمایش، بهبود مدیریت نیتروژن و انتخاب ارقام کارآمدتر جو، باعث افزایش کارایی مصرف نیتروژن و افزایش عملکرد دانه می‌شود (Anbessa and Juskiw, 2012). با توجه به محدود بودن منابع مربوط به کارایی مصرف نیتروژن در ژنوتیپ‌های جو در شرایط کم‌نهاده، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن در ژنوتیپ های جو در شرایط کم نهاده برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد- تهران، با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی، با حداکثر دمای سالیانه ۴۲/۶ درجه سانتی‌گراد (در ماه تیر) و حداقل دمای سالیانه ۵/۶- درجه سانتی‌گراد (در ماه بهمن)، ارتفاع ۹۹۰ متر از سطح دریا و میانگین دمای سالیانه ۱۷ درجه و میانگین بارش سالیانه ۱۶۰ میلی‌متر اجرا شد. اطلاعات آب و هوایی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- کمینه و بیشینه دمای هوا و میزان بارندگی محل اجرای آزمایش (۹۶-۱۳۹۵)

Fig. 1. Minimum and maximum air temperature and monthly rinfall at the experiment site (2016-2017)

زمین محل اجرای آزمایش در سال قبل تحت آیش بود. برای آماده‌سازی زمین، خاک مزرعه شخم و دیسک زده شده و سپس جوی و پشته‌ها ایجاد و کرت‌بندی انجام شد. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد (جدول ۱). بذرهای ۳۶ ژنوتیپ جو خالص سازی شده (جدول ۲) از موسسه تحقیقات دیم کشور- مراغه دریافت شده و در ۲۴ آبان سال ۱۳۹۵ به صورت آلفا لاتیس در دو تکرار در کرت‌هایی به ابعاد ۱/۵ × ۱/۵ با ۵۰ سانتی متر فاصله بین کرت‌ها در شش ردیف کاشت با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع بصورت دستی کاشته شدند. هیچگونه کود شیمیایی به خاک داده نشد.

مراقبت‌های زراعی شامل آبیاری، مبارزه با علف‌های هرز در تمام کرت‌ها به‌صورت یکسان اجرا شد. آبیاری‌ها بر اساس نیاز گیاه و وضعیت خاک و میزان بارندگی انجام شد. تعداد دفعات آبیاری در طول

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of soil at the expriment site

بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	بور B	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe	فسفر P	پتاسیم K	نیتروژن N (%)
			($mg.kg^{-1}$)							
Loam لومی	7.07	5.35	1.23	1.94	8.45	2.71	2.58	28	573	0.1

دوره رشد گیاهان ۱۴ مرتبه بود. آبیاری در ابتدای دوره رشد هر چهار روز یک بار و در طول دوره رشد، با در نظر گرفتن میزان بارندگی، دما و رطوبت خاک هر ۱۴ روز یک بار و آخرین آبیاری در تاریخ ۱۳۹۶/۰۲/۴ انجام شد. علف‌های هرز به‌صورت دستی وجین شدند. برداشت محصول پس از رسیدگی کامل از مساحت یک مترمربع از هر کرت پس از حذف بوته‌های حاشیه، به‌صورت دستی انجام شد.

جدول ۲- مشخصات ژنوتیپ‌های جو مورد ارزیابی

Table 2. Specifications of barley genotypes used in the experiment

ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	شماره بانک ژن Gene bank number	منشاء Origin
3	71426	Algeria
4	71426	Algeria
8	71530	Russia
15	1.1.3.2	Iran
16	1.1.3.2	Iran
17	71608	Egypt
22	71657	Egypt
34	72322	China
37	72368	China
46	72439	China
47	72439	China
49	72466	Iran-Miyandoab
54	72494	Iran-Gazvin
57	72500	Iran
68	1.1.3.3	Iran
70	1.1.3.11	Iran
71	72562	Iran-Kerman
75	72566	Iran-Gorgan
86	72650	Iran
88	72655	Iran
93	72672	Iran
102	72372	China
103	1.1.3.15	Iran
105	1.1.3.35	Iran
106	72482	Iran-TorbateJam
107	1.1.3.38	Iran
110	1.1.3.46	Iran
114	72686	Iran
116	1.1.3.55	Iran
117	1.1.3.47	Iran
119	72747	Iran
125	Ste/Antares//YEA762-2/YEA605-5/3/Slr//Alpha/Durra ICB01-1402-OAP-OMh-1Mh-OMh	Unknown
131	Dayton / Ranney	ICARDA
133	Yea/168	ICARDA
134	Obruk-86	Turkey
140	1.1.3.45	Iran

صفات گیاهی و شاخص‌های مورد ارزیابی عبارت بودند از وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، شاخص برداشت، کارایی مصرف نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن، کارایی بهره‌وری نیتروژن، شاخص برداشت نیتروژن، محتوای نیتروژن دانه، محتوای نیتروژن اندام هوایی و کارایی استفاده از نیتروژن برای پروتئین. عملکرد زیست‌توده با اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد دانه با اندازه‌گیری وزن دانه‌های محصول هر کرت در مرحله رسیدگی محاسبه شدند. شاخص برداشت از نسبت وزن دانه به وزن اندام هوایی محاسبه شد. وزن هزار دانه با شمارش و توزین تعداد هزار دانه جدا شده از ژنوتیپ‌های جو محاسبه شد. برای محاسبه کارایی مصرف نیتروژن پس از برداشت محصول هر کرت، نمونه‌هایی از دانه واندام‌های هوایی آسیاب شده و محتوای نیتروژن آنها با استفاده از دستگاه کجلدال (Gerhardt, Germany) اندازه‌گیری شد (Keeney, 1982).

کارایی جذب نیتروژن (Nitrogen uptake efficiency; NupE)، بهره‌وری نیتروژن (Nitrogen utilization; NutE)، کارایی مصرف نیتروژن (Nitrogen use efficiency; NUE)، کارایی استفاده از نیتروژن برای پروتئین (Nitrogen use efficiency of protein; NUEP)، جذب نیتروژن دانه (Nitrogen uptake of grain; Ngrain)، جذب نیتروژن کل اندام هوایی در مرحله رسیدگی (Total nitrogen uptake of shoot at maturity; Nmat) و شاخص برداشت نیتروژن (Nitrogen harvest index; NHI) با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند (Moll *et al.*, 1982).

$$\text{Nitrogen uptake efficiency (NupE)} = \frac{\text{Nmat}}{\text{N supply}}\ (\text{kg.kg}^{-1})$$ (رابطه ۱)

$$\text{Nitrogen utilization (NutE)} = (\text{kg.kg}^{-1})\ \frac{\text{DM grain}}{\text{Nmat}}$$ (رابطه ۲)

$$\text{Nitrogen use efficiency (NUE)} = \frac{\text{DM grain}}{\text{N supplay}}\ (\text{kg.kg}^{-1})$$ (رابطه ۳)

$$\text{Nitrogen use efficiency for protein (NUEP)} = \frac{\text{N grain}}{\text{N supply}}\ (\text{kg.kg}^{-1})$$ (رابطه ۴)

$$\text{Nitrogen uptake of grain} = \text{Nmat} \times \text{NHI (on logarithms) (Ngrain)(kgN.ha}^{-1})$$ (رابطه ۵)

$$\text{Total nitrogen uptake of shoot at maturity} = \text{Nanth} + \text{NpA (kgN.ha}^{-1})\text{(Nmat)}$$ (رابطه ۶)

$$\text{Nitrogen harvest index} = \frac{\text{N grain}}{\text{N mat}}\ \text{(NHI)(\%)}$$ (رابطه ۸)

برای تخمین عرضه نیتروژن (Nsupply) چند روش وجود دارد (Limon-Ortega *et al.*, 2000). در شرایطی که تیمار کودی وجود نداشته باشد، میزان عرضه نیتروژن به عنوان حداکثر جذب نیتروژن کل گیاه (Nmat)، در نظر گرفته می‌شود (Buchi *et al* ., 2016). DMgrain: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، Nsupply: عرضه نیتروژن (حاصلضرب مقدار نیتروژن موجود در نمونه بر حسب درصد) در وزن خشک نمونه (کیلوگرم در هکتار) و مقدار نیتروژن موجود در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شدند (Huggins and Pan, 1993). Nanth: زیست توده در مرحله گلدهی (کیلوگرم در هکتار)، NpA: محتوای نیتروژن پس از گلدهی (کیلوگرم در هکتار) هستند.

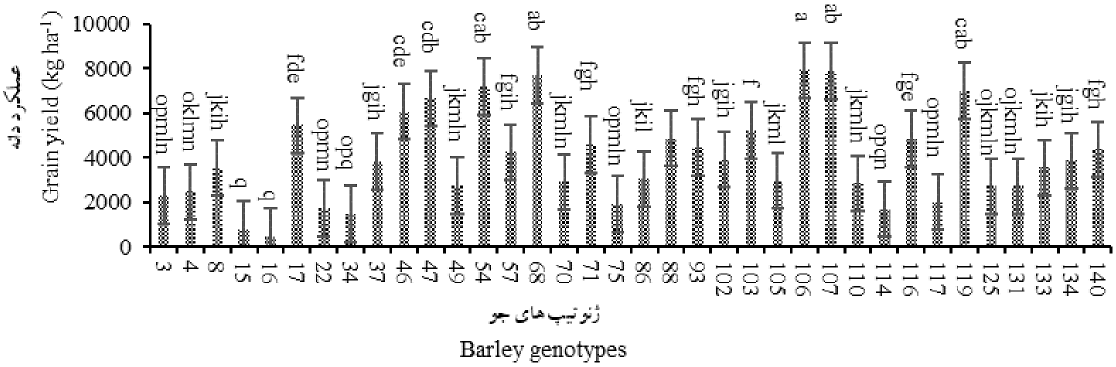
برای تجزیه داده‌ها از برنامه آماری SAS نسخه ۹/۴ استفاده شد. تجزیه واریانس ابتدا به صورت طرح لاتیس مربع ساده انجام شد و سپس مزیت نسبی طرح لاتیس نسبت به طرح بلوک‌های کامل تصادفی بررسی شد. با توجه به اینکه کارایی نسبی طرح لاتیس نسبت به طرح بلوک‌های کامل تصادفی کمتر از ۱۰۵ درصد

(Cochran *et al.*, 1957) و میانگین مربعات بلوک ناقص در تکرار کمتر از خطای درون بلوکی بود، تجزیه واریانس براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. تجزیه مؤلفه‌های اصلی که در آن واریانس موجود در داده‌های چند متغیره به مؤلفه‌های جزئی‌تر تجزیه می‌شود، انجام شد (Pearson, 1901). رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام و ضرایب همبستگی با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ محاسبه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ برای عملکرد زیست توده، عملکرد دانه،کارایی مصرف نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن برای پروتئین، محتوای نیتروژن اندام هوایی و نیتروژن دانه در سطح یک درصد و وزن هزاردانه و کارایی بهره‌وری نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۰۶، ۱۰۷، ۶۸ (به‌ترتیب ۷۹۲۰، ۷۹۰۰، ۷۶۹۳ کیلوگرم در هکتار) بود که با ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۵، ۳۴ با کمترین عملکرد دانه (به‌ترتیب ۴۵۵/۵، ۷۸۴/۵، ۱۴۹۶ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری داشتند (شکل ۲). گزارش شده است که با کاهش مصرف کود نیتروژن، میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان، گندم دوروم و تریتیکاله حدود ۳۱ درصد کاهش یافت (Alipour Kondari and Arzani, 2020). نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که عملکرد دانه به‌ترتیب با کارایی جذب نیتروژن (**r=۱/۰)، جذب نیتروژن اندام هوایی (**r=۰/۹۶)، جذب نیتروژن دانه (**r=۰/۹۶)، کارایی مصرف نیتروژن (**r=۰/۹۶) و کارایی مصرف نیتروژن برای پروتئین (**r=۰/۹۵) همبستگی مثبت و معنی‌داری را داشت (جدول ۴). رابطه مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با صفات مطالعه شده نشان‌دهنده نقش مهم این صفات در تعیین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو می‌باشد. گزارش شده است که همبستگی مثبتی بین عملکرد دانه و جذب کل نیتروژن در شرایط مناطق مدیترانه‌ای وجود دارد (Barati *et al.*, 2015). بهبود مدیریت نیتروژن و استفاده از ارقام کارآمد در جو می‌تواند باعث افزایش کارایی مصرف نیتروژن و افزایش عملکرد دانه در جو شود (Anbessa and Juskiw, 2012). بر همین اساس با توجه به نتایج همبستگی، بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و کارایی مصرف نیتروژن مشاهده شد (جدول ۳).



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در شرایط کم نهاده

Fig. 2. Mean comparison of grain yield of barley genotypes under low input conditions

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن ژنوتیپ‌های جو در شرایط کم نهاده

Table 3. Mean comparison of grain yield, nitrogen use efficiency indices of barley genotypes under low input conditions

ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد زیست توده Biomass (kg.ha^{-1})	وزن هزار دانه 1000 grain weight (g)	جذب نیتروژن اندام هوایی Nitrogn uptake of shoot (kgN.ha^{-1})	جذب نیتروژن دانه Nitrogen uptake of Grain (kgN.ha^{-1})	بهره‌وری نیتروژن Nitrogen utilization (kgkg^{-1})	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen uptake efficiency (kg.kg^{-1})	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency (kg.kg^{-1})	کارایی مصرف نیتروژن برای پروتئین Nitrogen use efficiency for protein (kg.kg^{-1})
3	2311	4811	56.6	67.3	50.6	36.5	0.50	17.1	0.37
4	2473	6666	56.0	76.3	48.9	35.0	0.57	18.3	0.36
8	3533	7755	54.4	122.9	92.1	29.6	0.91	26.1	0.68
15	784	2289	46.5	27.7	16.2	30.0	0.21	5.8	0.12
16	455.5	1344	41.1	14.5	8.4	31.8	0.11	3.3	0.06
17	5453	13889	43.7	167.9	103.7	31.1	1.24	40.4	0.77
22	1742	4766	46.4	46.9	28.8	35.1	0.35	12.9	0.21
34	1496	3977	50.4	46.6	29.9	33.1	0.35	11.0	0.22
37	3822	8855	44.0	122.3	81.2	31.3	0.91	28.3	0.60
46	6066	14267	49.1	177.7	126.9	29.9	1.32	44.9	0.94
47	6653	13267	49.9	175.5	135.0	38.7	1.30	49.2	1.00
49	2747	7277	50.9	81.7	49.1	37.0	0.61	20.3	0.36
54	7187	17378	45.2	248.2	174.7	29.4	1.84	53.2	1.29
57	4258	9044	39.8	140.7	88.7	29.7	1.04	31.5	0.66
68	7693	21467	50.7	287.8	184.3	26.5	2.25	56.9	1.37
70	2918	7400	50.4	99.0	72.2	30.2	0.73	21.6	0.53
71	4600	12734	51.3	160.9	100.1	28.6	1.19	34.0	0.74
75	1933	4000	55.1	60.0	45.1	31.9	0.44	14.3	0.33
86	3053	7978	49.3	95.0	64.6	31.9	0.70	22.6	0.48
88	4866	15334	50.8	229.6	157.5	21.1	1.70	36.0	1.17
93	4449	9022	54.1	146.5	110.6	30.8	1.09	32.9	0.87
102	3909	9722	53.2	125.5	92.9	32.6	0.93	28.9	0.67
103	5211	10911	52.0	164.0	128.6	32.2	1.22	38.6	0.95
105	2966	8711	50.3	91.3	55.5	32.3	0.68	21.9	0.41
106	7920	24934	49.0	270.6	156.4	29.4	2.00	58.6	1.16
107	7900	18133	44.3	269.6	182.8	30.9	2.00	58.5	1.28
110	2847	5888	48.2	86.4	66.3	32.4	0.64	21.0	0.49
114	1695	4800	56.3	55.3	39.1	24.4	0.41	12.5	0.29
116	4840	10367	46.3	157.0	118.5	31.2	1.16	35.8	0.88
117	2020	5755	43.0	75.3	47.8	23.7	0.56	14.9	0.35
119	7000	19000	55.7	234.1	158.3	29.8	1.73	51.8	1.17
125	2720	7189	53.6	93.3	65.8	29.8	0.69	20.1	0.49
131	2720	6889	51.2	105.5	76.6	27.7	0.78	20.1	0.57
133	3546	6678	53.4	84.6	61.3	42.0	0.63	26.2	0.45
134	3873	9022	53.9	119.1	89.1	32.7	0.88	28.6	0.66
140	4375	9244	54.6	105.2	73.4	41.0	0.78	32.4	0.54
LSD	1250	1417	9.1	20.2	32.5	9.0	0.3	9.8	0.28

در هر ستون میانگین‌هایی که داری حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similsr letter(s) are not significantly different at 5% probibilty level, using LSD test

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان عملکرد زیست توده مربوط به ژنوتیپ ۱۰۶ (۲۴۹۳۴ کیلوگرم در هکتار) بود که البته با ژنوتیپ‌های ۱۰۶ و ۶۸ تفاوت معنی داری نداشت. ژنوتیپ های ۳۴، ۱۵ و ۱۶ کمترین میزان عملکرد زیست توده (به‌ترتیب ۳۹۷۷/۵، ۲۲۸۹ و ۱۳۴۴ کیلوگرم در هکتار) را داشتند (جدول ۳). در یک آزمایش روی چهار ژنوتیپ جو دو ردیفه (شماره ۱۱ ژاپنی، ۱۷ کلکسیون، گرگان و ارس) و چهار ژنوتیپ جو شش ردیفه (شماره ۱ ژاپنی، ۵ کلکسیون، والفجر و زرجو) با مبدأ ایرانی و ژاپنی گزارش شد که بین ژنوتیپ‌های شش‌ردیفه از نظر عملکرد زیست توده تفاوت معنی‌داری وجود داشت و ارقام دو ردیفه نیز دارای اختلاف معنی‌داری با ارقام شش ردیفه بودند (Omidi, 2002).

بیشترین مقدار وزن هزار دانه مربوط به ژنوتیپ‌های ۳، ۸ و ۱۱۴ (به‌ترتیب ۵۶/۶، ۵۶/۴ و ۵۶/۳ گرم) و کمترین وزن هزار دانه مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۱۷، ۱۶ و ۵۷ (به‌ترتیب ۴۳/۰، ۴۱/۱ و ۳۹/۸ گرم) بود (جدول ۳). وزن هزار دانه یک صفت مهم با تاثیر مثبت بر عملکرد دانه غلات شناخته شده است (Aghaee Sarbarzeh and Amini, 2011) و می‌توان از آن برای گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بالا در ژنوتیپ‌های جو استفاده کرد. بین وزن‌هزاردانه با شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=۰/۴۴*) وجود داشت که نشان می‌دهد هر چه وزن‌هزاردانه بیش‌تر باشد شاخص برداشت نیز افزایش می‌یابد (Hoseini Ebrahimi *et al.*, 2016).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان جذب نیتروژن اندام هوایی به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ۶۸، ۱۰۶ و ۱۰۷ (به‌ترتیب ۲۸۷/۸، ۲۷۰/۶ و ۲۶۹/۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) مشاهده شد. کمترین میزان جذب نیتروژن اندام هوایی در ژنوتیپ‌های ۳۴، ۱۵ و ۱۶ (به‌ترتیب ۴۶/۶، ۲۷/۷ و ۱۴/۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) مشاهده شد (جدول ۳). در ژنوتیپ‌هایی که سرعت رشد و نمو بیشتری داشته و اندام‌های هوایی گسترده‌تری تولید می‌کنند، در زمان انتقال مجدد مواد بیشتری به دانه‌های آنها منتقل شده و از محتوای نیتروژن بالاتری برای تولید پروتئین برخوردار هستند (Fanoodi *et al.* 2017). محتوای نیتروژن اندام هوایی با کارایی جذب نیتروژن (r=۱/۰**)، نیتروژن دانه (r=۰/۹۸**) ، عملکرد دانه (r=۰/۹۸**)، کارایی استفاده از نیتروژن برای پروتئین (r=۰/۹۸**) و کارایی مصرف نیتروژن (r=۰/۹۶**) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت.

کمترین میزان جذب نیتروژن دانه (۸/۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) مربوط به ژنوتیپ ۱۶ و بیشترین مقدار آن مربوط به ژنوتیپ‌های ۶۸، ۱۰۷ و ۵۴ (به‌ترتیب ۱۸۴/۳، ۱۸۲/۸ و ۱۷۴/۷ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) بود. میانگین نیتروژن دانه در ژنوتیپ‌های جو ۸۸/۳ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). نیتروژن از مهم‌ترین عناصر موثر در تولید ماده خشک گیاه است که کمبود آن در خاک، تولید مواد فتوسنتزی و انتقال آنها به دانه‌ها کاهش می‌یابد (Fanoodi *et al.* 2017). نیتروژن دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با کارایی استفاده از نیتروژن برای پروتئین (r=۱/۰**)، عملکرد دانه (r=۰/۹۶**)، کارایی استفاده از نیتروژن (r=۰/۹۶**) و کارایی جذب نیتروژن (r=۰/۹۸**) داشت (جدول ۴).

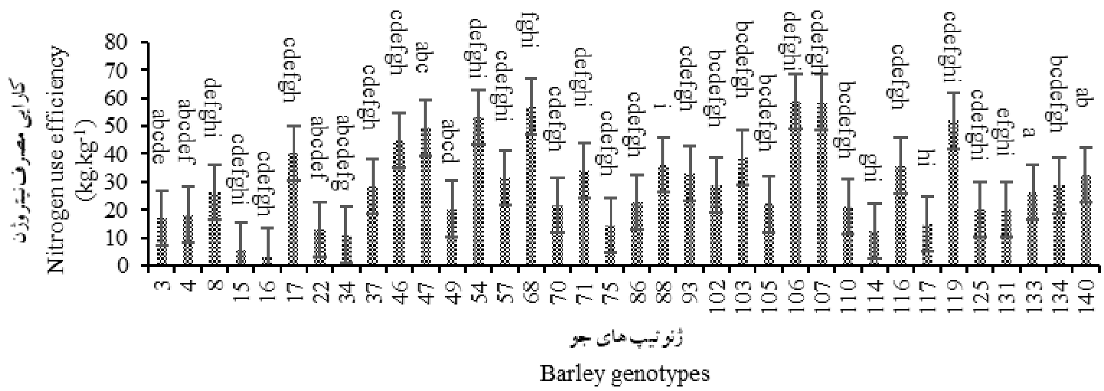
بیشترین میزان بهره‌وری نیتروژن مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۳۳، ۱۴۰ و ۴۷ (به‌ترتیب ۴۲/۰، ۴۱/۰ و ۳۸/۷ و کمترین مقدار آن مربوط به ژنوتیپ‌های ۸۸، ۱۱۷ و ۱۱۴ (به‌ترتیب ۲۱/۱، ۲۳/۷ و ۲۴/۴) بود (جدول ۳). نتایج یک آزمایش نشان داد که میزان بهره‌وری نیتروژن در ارقام جو متفاوت بوده و ارقام جو با جذب بالای نیتروژن عملکرد بالاتری داشتند (Fanoodi *et al.*, 2017). گزارش شده است که

همانند دو شاخص کارایی مصرف نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن، کارایی بهره‌وری نیتروژن نیز به طور مستقیم تابعی از عملکرد دانه ارقام گندم است (Hosseini *et al.*, 2013). در آزمایش حاضر در شرایط کمبود نیتروژن، بهره‌وری نیتروژن در ژنوتیپ‌های ۱۳۳، ۱۴۰ و ۴۷ بالاتر بود. لازم به ذکر است که شاخص کارایی مصرف نیتروژن حاصلضرب بهره‌وری نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن است که این اجزاء حالت موازنه با یکدیگر دارند، بنابراین افزایش در یکی از اجزاء با کاهش در جزء دیگر همراه خواهد بود. در این آزمایش ژنوتیپ ۱۳۳ بیشترین بهره‌وری نیتروژن و کمترین کارایی جذب نیتروژن را داشت. در همین راستا گزارش شده است که کارایی بهره‌وری نیتروژن در طول بهبود ژنتیکی ارقام گندم و یولاف صورت گرفته است (Muurinen *et al.*, 2007).

بیشترین کارایی جذب نیتروژن مربوط به ژنوتیپ‌های ۶۸، ۱۰۶ و ۱۰۷ (به‌ترتیب ۲/۲، ۲ و ۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار آن مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۵ و ۳۴ (به‌ترتیب ۰/۱۱، ۰/۲۱ و ۰/۳۵ کیلوگرم بر کیلوگرم) بود. توانایی جذب نیتروژن به خصوصیات ارقام مربوط بوده و همیشه با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن، کارایی جذب افزایش نمی‌یابد (Hoseini *et al.*, 2013). (جدول ۳). در مقابل وجود برخی خصوصیات زراعی و ژنتیکی در ارقام می‌تواند باعث تفاوت در کارایی جذب نیتروژن آنها شود (Hosseini *et al.*, 2013). گزارش شده است که کاهش کارایی جذب نیتروژن در اثر افزایش مصرف کود نیتروژن صورت می‌گیرد (Dawson *et al.*, 2008).

بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در ژنوتیپ‌های ۱۰۶، ۱۰۷ و ۶۸ (به‌ترتیب ۵۸/۶، ۵۸/۵ و ۵۶/۹ کیلوگرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار آن در ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۵، ۳۴ (به‌ترتیب ۳/۳، ۵/۸ و ۱۱/۰ کیلوگرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (شکل ۳). ژنوتیپ‌هایی که دارای بالاترین و پایین‌ترین میزان عملکرد دانه بودند، به‌ترتیب دارای بالاترین و پایین‌ترین کارایی مصرف نیتروژن نیز بودند. میانگین مقدار کارایی مصرف نیتروژن ژنوتیپ‌های جو نیز ۲۹/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم بود. بالاتر بودن کارایی مصرف نیتروژن در ژنوتیپ ۱۰۶ نشان‌دهنده کاهش جذب نیتروژن توسط این ژنوتیپ می‌باشد که در نتیجه منجر به کارایی بیشتر این ژنوتیپ در مصرف نیتروژن شد (جدول ۳) که این موضوع با نتایج حسینی و همکاران (Hosseini *et al.*, 2013) مطابقت داشت. در آزمایشی که در رابطه با مقایسه کارایی مصرف نیتروژن در ارقام غلات در فنلاند انجام شد، گزارش شد که به‌نژادی باعث ایجاد روند خاصی در افزایش جذب نیتروژن از خاک طی قرن اخیر نشده است (Muurinen *et al.*, 2007). در یک آزمایش گزارش شد که جوهای دو ردیفه در مقایسه با جوهای شش ردیفه کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد دانه بالاتری داشتند (Barati *et al.*, 2015). نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که کارایی مصرف نیتروژن ژنوتیپ‌های جو همبستگی مثبت و بالایی در سطح احتمال یک درصد با کارایی جذب نیتروژن ($r=0/96^{**}$) و کارایی مصرف نیتروژن برای پروتئین ($r=0/96^{**}$) داشت (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین کارایی مصرف نیتروژن برای پروتئین مربوط به ژنوتیپ‌های ۶۸، ۵۴ و ۱۰۷ (به‌ترتیب ۱/۳، ۱/۲ و ۱/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار آن مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۵ و ۲۲ (به‌ترتیب ۰/۰۶، ۰/۱۲ و ۰/۲۱ کیلوگرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۳). با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های ۱۰۶ و ۶۸ بیشترین عملکرد و کمترین کارایی مصرف نیتروژن را داشتند، می‌توان نتیجه گرفت که در فرایندهای به‌نژادی تلاش بیشتری در جهت افزایش عملکرد دانه نسبت به شاخص برداشت نیتروژن



شکل ۳- مقایسه میانگین کارایی مصرف نیتروژن در ژنوتیپ‌های جو در شرایط کم نهاده

Fig. 3. Mean comparison of nitrogen use efficiency in barley genotypes under low input conditions

صورت گرفته است و این موضوع تـا حـدودی کـاهش کارایی مصرف نیتروژن برای پروتئین در این ژنوتیپ‌هـا را توجیه می‌کند. در شرایط محدودیت نیتروژن، تجمع این عنصر در دانه و انـدام‌های هـوایی ژنوتیپ‌هـای جـو کمتر بـوده و در نتیجـه باعـث کـاهش کـارایی مصـرف نیتروژن برای پروتئین در ژنوتیپ‌هـای یادشـده گردیـد. نتایج یـک پـژوهش نشـان داد کـه تفـاوت در محتـوای پروتئین دانـه در ارقـام گنـدم، تـابعی از تفـاوت ژنتیکـی آنها است (Le Gouis *et al.*, 2000).

به‌منظور شناسایی مهم‌ترین صفات موثر بر عملکـرد دانه از تجزیه رگرسیون چندگانه بـه روش گـام بـه گـام استفاده شد. نتایج نشان داد که منبع تغییـر رگرسـیون در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بـود. سـه صـفت وارد شده به مدل، در مجموع تغییرات عملکرد دانـه را تبیـین کردند. ضریب تبیین تعدیل شـده در مـدل نهـایی۰/۹۸۵ بدست آمد که نشان می دهـد ۹۸/۵ درصـد از تغییـرات عملکرد دانه توسطسه متغیر وارد شده به مدل تبیین شـده و ۱/۵ درصد از تغییرات مربوط به سایر عوامل و روابـط بود. از مجموع ۱۱ صفت و شاخص انـدازه‌گیری شـده، سـه شـاخص کـارایی مصـرف نیتـروژن، عملکـرد زیست‌توده و کارایی جذب نیتـروژن وارد مـدل شـدند. سهم و نقش هر یک از متغیرهای وارد شده بـه مـدل در تبیین متغیر وابسته از مقادیر بتا (ضرایب مسیر اسـتاندارد) تعیین می‌شود. با توجه به بتاهـای بدسـت آمـده در گـام سـوم، کـارایی مصـرف نیتـروژن بـا ضـریب بتـا ۰/۹۲ قوی‌ترین رابطه را با عملکرد دانه داشـت. بـه ایـن معنـی که این متغیر مهم‌ترین صفت موثر بر عملکرد دانه است. پس از آن، متغیر عملکرد زیست‌توده با مقـدار بتـا ۰/۳۴ در مرتبه بعدی قرار گرفت. متغیر کارایی جذب نیتروژن با مقدار بتا ۰/۲۶- رابطه معکوس با عملکرد دانه داشـت (جدول ۵). رابطه رگرسیونی برای پـیش بینـی عملکـرد دانه به‌صورت مدل زیر بود. با توجـه ضـریب تبیـین بـالا (۹۸/۵ درصـد) و خطـای اسـتاندارد پـایین (۲۴۹/۰۸)، دقت پیش بینی مدل بالا است.

$$Y= 123.5X_1+9.8X_2-991.7X_3+23.01 \quad \text{(رابطه ۹)}$$

براســاس نتــایج تجزیــه بــه مولفــه‌های اصــلی، ژنوتیپ‌های جـو بـه چهـار گـروه اصـلی تقسـیم شـدند. گروه های اول، دوم و سوم دارای بیشترین مقـدار بـرای مولفـه اول بودنـد. مولفـه اول شـامل کـارایی مصـرف نیتـروژن، کـارایی جـذب نیتـروژن، کـارایی مصـرف نیتروژن برای پـروتئین، عملکـرد زیسـت‌توده، عملکـرد دانه، نیتروژن دانه و نیتروژن اندام هوایی بود که به‌عنوان عملکرد و کیفیت دانه در نظر گرفتـه شـدند. مولفـه دوم شامل کارایی بهـره وری نیتـروژن، شـاخص برداشـت و شاخص برداشت نیتروژن بود که به‌عنوان جذب نیتروژن در نظر گرفته شدند (جدول ۶).

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن ژنوتیپ‌های جو در شرایط کم نهاده

Table 4. Correlation coefficient between grain yield and nitrogen use efficiency indices of barley genotypes under low input conditions

	عملکرد دانه Grain yield (1)	وزن هزار دانه 1000 grain weight (2)	جذب نیتروژن اندام هوایی Nitrogn uptake of Shoot (3)	جذب نیتروژن دانه Nitrogen uptake of Grain (4)	بهره‌وری نیتروژن Nitrogen Utilization (5)	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen uptake Efficiency (6)	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use Efficiency (7)	کارایی مصرف نیتروژن برای پروتئین Nitrogen use efficiency for protein (8)	شاخص برداشت نیتروژن Nitrogen harvest Index (9)	شاخص برداشت Harvest index (10)
1	1									
2	-0.08ns	1								
3	0.96**	-0.09ns	1							
4	0.96**	-0.04ns	0.98**	1						
5	-0.09ns	0.20ns	-0.31ns	-0.27ns	1					
6	1.0**	-0.08ns	1.0**	0.96**	-0.10ns	1				
7	0.96**	-0.09ns	0.96**	0.98**	-0.10ns	0.96**	1			
8	0.95**	-0.38ns	0.98**	1.0**	-0.28ns	0.98**	0.96**	1		
9	0.07ns	0.44*	-0.03ns	0.12ns	0.54**	0.96**	0.11ns	0.11ns	1	
10	0.14ns	0.16ns	0.00ns	0.12ns	0.54**	-0.01ns	0.14ns	0.11ns	0.83**	1

ns, * and **: Not significant and significant at 5% and 1% probabikity levels, respectively

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۵- ضرایب رگرسیون برای پیش‌بینی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در شرایط کم نهاده

Table 5. Regression coefficients for prediction of grain yield of barley genotypes under low input conditions

ضرایب رگرسیون Regression coefficients	ضرایب استاندارد نشده Unstandardized coefficients ضریب بتا B	 خطای استاندارد Standard error	ضرایب رگرسیون استاندارد Standard regression coefficients	t	P
ضریب ثابت (a) Constant value	23.01	64.55	...	0.36	0.723
کارایی مصرف نیتروژن (X_1) Nitrogen use efficiency	123.55	6.36	0.92	19.42	0.000
عملکرد زیست‌توده (X_2) Biomass yield	9.80	3.08	0.34	3.18	0.002
کارایی جذب نیتروژن (X_3) Nitrogen uptake efficiency	-991.76	403.18	-0.26	-2.46	0.016

RMSE= 249.08 R= 0.993 R^2= 0.986 R^2 adj= 0.985

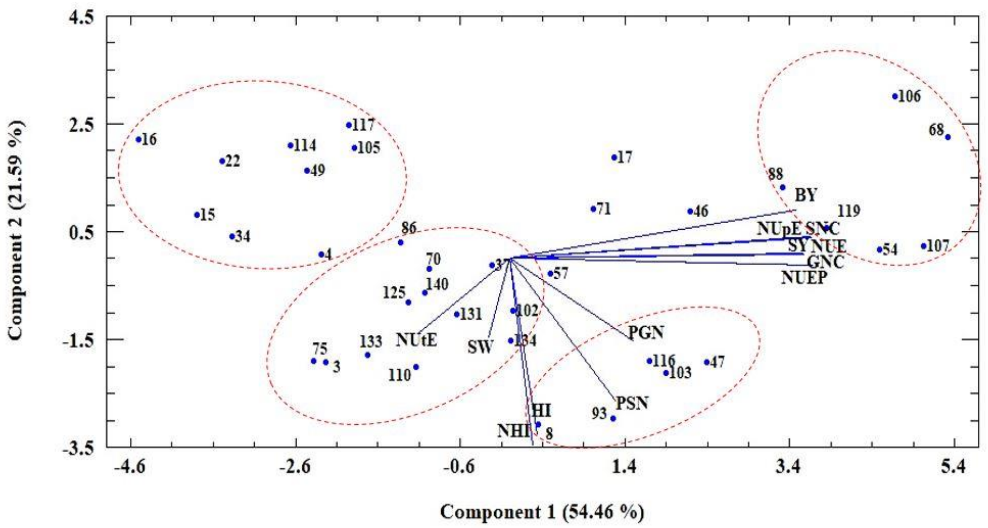
جدول ۶- ضرایب مولفه‌های حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی ژنوتیپ‌های جو در شرایط کم نهاده

Table 6. Coefficients of the components using PCA of barley genotypes under low input conditions

Plant traits	صفات گیاهی	مولفه اول First component	مولفه دوم Second component
Nitrogen uptake of shoot	جذب نیتروژن اندام هوایی	0.372215	0.0645299
Nitrogen uptake of grain	جذب نیتروژن دانه	0.373431	-0.0217234
Grain yield	عملکرد دانه	0.362064	0.0161233
Biomass	عملکرد زیست‌توده	0.354432	0.146439
Harvest index	شاخص برداشت	0.0339569	-0.535859
1000 grain weight	وزن هزار دانه	-0.0263444	-0.240642
Nitrogen use efficiency	کارایی مصرف نیتروژن	0.362924	0.0140773
Nitrogen utilization	بهره‌وری نیتروژن	-0.112957	-0.226955
Nitrogen uptake efficiency	کارایی جذب نیتروژن	0.371492	0.0686473
Nitrogen use efficiency for protein	کارایی مصرف نیتروژن برای پروتئین	0.373888	-0.0206109
Nitrogen harvest index	شاخص برداشت نیتروژن	0.0278105	-0.568804

برای بررسی رابطه بین عملکرد و سایر صفات ژنوتیپ‌های جو از روش نمودار دو وجهی بای‌پلات استفاده شد. روش بای‌پلات برای تجزیه داده‌های آزمایش‌های چند محیطی مورد استفاده قرار گرفته و برای داده‌های صفات گیاهی نیز قابل استفاده بوده و ارزیابی ژنوتیپ‌ها و انتخاب براساس صفات اصلاحی مورد نظر انجام می‌گیرد (Sheikh *et al.*, 2023). در این آزمایش نتایج نمودار تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که مولفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب ۵۴/۶ و ۲۱/۵۹ درصد و در مجموع ۷۶/۱۹ درصد از کل تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ و صفات توسط این دو مولفه توجیه شده که نشان دهنده اعتبار نسبتا بالای بای‌پلات بدست‌آمده در توجیه تغییرات است (شکل ۴). در صورتی که مجموع مولفه‌های اصلی اول و دوم تغییرات موجود را تبیین نکنند، نشان‌دهنده ماهیت پیچیده برهمکنش در صفات خواهد بود (Yan and Hunt, 2001). البته این موضوع به معنای نامعتبر بودن بای‌پلات نیست. هنگامی که نمودار بای‌پلات حداقل ۶۰ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه نماید، می‌توان برای تعیین محیط‌های بزرگ از آن استفاده کرد (Yan *et al.*, 2007). براین اساس ژنوتیپ‌های جو مورد ارزیابی به چهار گروه تقسیم شدند (شکل ۴). گروه اول شامل ژنوتیپ‌های ۸۸، ۱۱۹، ۵۴، ۱۰۷، ۶۸، و ۱۰۶ بود. این ژنوتیپ‌ها بیشترین فاصله را از مبدأ

بای‌پلات داشتند و ژنوتیپ‌های رأسی بودند. این ژنوتیپ‌ها از لحاظ شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد و کیفیت دانه بالاتر از سایر گروه‌ها بودند. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۸، ۹۳، ۱۱۶، ۱۰۳، ۴۷ بودند که شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن پایین داشته، ولی از لحاظ عملکرد و کیفیت دانه در رتبه دوم قرار داشتند. گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های ۱۶، ۲۲، ۱۵، ۳۴، ۱۱۴، ۴۹، ۴، ۱۱۷و ۱۰۵ بود. ژنوتیپ‌های این گروه با این‌که جذب نیتروژن بالایی داشتند، ولی کیفیت و عملکرد پایینی داشتند. این ژنوتیپ‌ها کیفیت و عملکرد خوبی در ازای مصرف نیتروژن نداشتند، بنابراین برای شرایط کم نهاده مناسب نیستند. گروه چهارم شامل ژنوتیپ‌های ۷۵، ۳، ۱۳۳، ۱۲۵، ۱۱۰، ۱۳۱، ۱۴۰، ۷۰، ۸۶، ۱۰۲، ۱۳۴ و ۳۷ بود که علاوه بر جذب نیتروژن پایین، عملکرد و کیفیت پایینی هم داشتند. با این وجود این ژنوتیپ‌ها برتر از ژنوتیپ‌های گروه سوم بودند، زیرا عملکرد پایین آن‌ها به دلیل جذب نیتروژن پایین بود. بر اساس نتایج بای‌پلات برای انتخاب ژنوتیپ‌های محتمل به شرایط کم‌نهاده، ژنوتیپ‌های گروه اول به دلیل دارا بودن عملکرد دانه بالا و پایداری عملکرد نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشتند.



شکل ۴- بای پلات ژنوتیپ‌های جو در شرایط کم نهاده

Fig. 4. Biplot of barley genotypes under low input conditions

محاسبه کسینوس زاویه بین بردارهای محیط‌ها در نمودار بای‌پلات نشان دهنده تقریبی از همبستگی بین محیط‌ها است. در صورتی که زاویه بین دو بردار محیط ۹۰ درجه باشد، همبستگی آنها صفر و اگر این زاویه صفر باشد، همبستگی بین محیط‌ها ۱ + و اگر ۱۸۰ درجه باشد همبستگی ۱ - خواهد بود. با تعیین همبستگی بین محیط‌ها می‌توان در آزمایشات تعیین سازگاری و پایداری ارقام که در چندین سال و مکان اجرا می‌شود، محیط‌های مشابه را شناسایی و حذف کرد که این موضوع باعث کاهش هزینه‌ها خواهد شد (Yan and Hunt, 2001). کسینوس زاویه بین محورها (θ) نشان دهنده همبستگی بین صفات است، بنابراین زاویه محورهای صفاتی که کمتر هستند، دارای بیشترین همبستگی با یکدیگر می‌باشند. براساس نمودار بای‌پلات بین کارایی مصرف نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن برای پروتئین، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، نیتروژن دانه و نیتروژن اندام هوایی همبستگی مثبت و بالایی وجود

دارد. علاوه بر بیشتر بودن زاویه محورهای صفات عملکرد زیست‌توده و کارایی بهره‌وری نیتروژن، کسینوس زاویه بین محورها ۱۸۰ درجه بود که نشان دهنده همبستگی بالا ولی منفی بین این دو صفت می‌باشد، یعنی با افزایش عملکرد زیست‌توده، کارایی مصرف نیتروژن در ژنوتیپ‌ها کاهشی می‌شود. به‌علاوه فاصله کمتر هر یک از محورها به گروه‌ها، نشان‌دهنده بیشترین تاثیر صفات در آن گروه می‌باشد، بنابراین کارایی مصرف نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن برای پروتئین، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، نیتروژن دانه و نیتروژن اندام هوایی بیشترین تاثیر را در ژنوتیپ‌های گروه اول و کارایی بهره‌وری نیتروژن و شاخص برداشت بیشترین تاثیر را روی ژنوتیپ‌های گروه دوم نشان دادند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۰۶، ۱۰۷ و ۶۸ دارای بالاترین عملکرد دانه (به‌ترتیب ۷۹۰۰، ۷۹۲۰ و ۷۹۶۳ کیلوگرم در هکتار)، بالاترین کارایی مصرف نیتروژن (به‌ترتیب ۵۸/۶، ۵۸/۵ و ۵۶/۹ کیلوگرم بر کیلوگرم) و بالاترین کارایی جذب نیتروژن (به‌ترتیب ۲، ۲ و ۲/۲۵ کیلوگرم بر کیلوگرم) بودند. نتایج تجزیه رگرسیون چندگانه نشان داد که سه متغیر کارایی مصرف نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن و عملکرد زیست‌توده در مجموع ۹۸/۲ درصد از تغییرات عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو را تبیین کردند. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که گروه اول شامل ژنوتیپ‌های ۸۸، ۱۱۹، ۵۴، ۱۰۷، ۶۸، و ۱۰۶ دارای بالاترین عملکرد دانه، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن بودند. گروه چهارم شامل ژنوتیپ‌های ۷۵، ۳، ۱۳۳، ۱۲۵، ۱۱۰، ۱۳۱، ۱۴۰، ۷۰، ۸۶، ۱۰۲، ۱۳۴ و ۳۷، علاوه بر جذب نیتروژن پایین، عملکرد و کیفیت پایینی هم داشتند. با توجه به اینکه کارایی مصرف نیتروژن از دو شاخص کارایی جذب نیتروژن و کارایی بهره‌وری نیتروژن تشکیل شده است، بنابراین بهبود کارایی مصرف نیتروژن در این آزمایش به دلیل بهبود کارایی جذب نیتروژن بوده است. به‌علاوه با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های ۱۰۶ و ۶۸ بیشترین عملکرد دانه و کمترین کارایی مصرف نیتروژن را داشتند، به‌نظر می‌رسد که اصلاح در جهت افزایش عملکرد دانه نسبت به شاخص برداشت نیتروژن موفقیت آمیزتر بوده است و این موضوع تا حدودی کاهش کارایی مصرف نیتروژن برای پروتئین در این ژنوتیپ‌ها را توجیه می‌کند. تنوع ژنتیکی بالا در عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن ژنوتیپ‌های جو، برای انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب در شرایط کم‌نهاده مفید خواهد بود. بر این اساس ژنوتیپ‌های گروه اول از لحاظ عملکرد دانه، کیفیت و کارایی مصرف نیتروژن برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند و در شرایط کم‌نهاده می‌توان از آنها جهت افزایش کارایی مصرف نیتروژن استفاده کرد.

منابع مورد استفاده

References

Aghaee Sarbarzeh, M. and Amini, A. 2011. Genetic variability for agronomic traits in bread wheat genotype collection of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 27(4), pp.581-599. [In Persian].

Anonymous. 2022. Statistical data [Online]. Available at: www.amar.maj.ir/page-amar/FA/65/form/pId3352.

Anbessa, Y. and Juskiw, P. 2012. Strategies to increase nitrogen use efficiency of spring barley. *Canadian Journal of Plant Science*, 92(4), pp.617-625. https://doi.org/10.4141/cjps2011-207

Barati, V.H., Ghadiri, S., Zand-Parsa, Sh. and Karimian, N. 2015. Nitrogen and water use efficiencies and yield response of barley cultivars under different irrigation and nitrogen regimes in a semi-arid

Mediterranean climate. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61(1), pp.15-32. https://doi.org/10.1080/03650340.2014.921286

Beatty, P.H., Anbessa, Y., Juskiw, P., Carroll, R.T., Wang, J. and Good, A.G. 2010. Nitrogen use efficiencies of spring barley grown under varying nitrogen conditions in the field and growth chamber. *Annals of Botany*, 105(7), pp.1171-1182. https://doi.org/10.1093/aob/mcq025

Buchi, L., **Charles, R., Schneider, D., Sinaj, S., Maltas, A., Fossati, D., Mascher, F. 2016.** Performance of eleven winter wheat varieties in a long term experiment on mineral nitrogen and organic fertilization. *Field Crops Research*, 191: pp.111-122. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.022

Cochran, W.G. 1957. Analysis of covariance: it's nature and uses. *International Biometric Society*, 13(3), pp.261-281. https://doi.org/10.2307/2527916

Dawson, J.C., Huggins, D.R. and Jones, S.S. 2008. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. *Field Crops Research*, 107(2), pp.89-101. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.01.001

Alipour Kondari, H., and Arzani, A. 2020. Evaluation of heterosis and heritability of yield and yield components in bread wheat, durum wheat and triticale. *Journal of Crop Production*, 13(3), pp.107-118. [In Persian]. https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.17900.2317

Fanoodi, F., Khazaie, H.R., Kafi, M. and Goldani, M. 2017. Consideration of nitrogen rate effect on nitrogen use efficiency of barely cultivars in Mashhad and Damghan conditions. *Journal of Applied Crop Research*, 30(3), pp.1-13. https://doi.org/10.22092/AJ.2018.110384.1176

FAO. 2019. Statistical data [Online]. Available at: www. fao.org/faostat.

Giambalwo, D., Ruisi, P.G. and Miceli D. 2010. Nitrogen use efficiency and nitrogen fertilizer recovery of durum wheat genotypes as affected by interspecific competition. *Agronomy Journal*, 102(2), pp.707-715. https://doi.org/10.2134/agronj2009.0380

Hassani, A. and Amiri, M.R. 2016. Effect of foliar application of amino acids on nitrogen use efficiency, grain yield and quality of barley. *Applied Field Crops Research*, 29(3), pp.76-86. https://doi.org/10.22092/AJ.2016.115264

Hosseini, R., Galeshi, S., Soltani, A., Kalateh, M. and Zahed, M. 2013. The effect of nitrogen rate on nitrogen use efficiency index in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(2), pp.300-306. [In Persian] https://doi.org/10.22067/GSC.V11I2.26142

Hoseini Ebrahimi, M., Azari, A., Tabatabaei, S.A. and Madah Hoseini, S. 2016. Effect of salt stress on yield quality and quantity of promising lines of barley. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 8(2), pp.285-295. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2016.239

Houshmandfar, A.R., Tehrani, M.M. and Delnavaz Hashemlouyan, B. 2008. The effects of different nitrogen levels on grain protein and the nitrogen use efficiency of wheat. *Plant and Ecosystem*, 4(15), pp.52-

62. [In Persian].

Huggins, D.R. and Pan, W.L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *Journal of Agronomy*, 85(4), pp.898-905. https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500040022x

Kamkar, B., Koochki, A.R., Nassiri Mahallati, M. and Rezvani Moghaddam, P. 2007. Yield gap analysis of cumin in nine regions of Khorasan provinces using modelling approach Iran. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 5(2), pp.333-341. https://doi.org/10.22067/GSC.V5I2.1155

Keeney, D.R. 1982. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. *Nitrogen in Agricultural Soils*, 22, pp.605-649 https://doi.org/10.2134/agronmonogr22.c16

Le Gouis, J., Beghin, D., Heumez, E. and Pluchard, P. 2000. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 12(3-4), pp.163-173. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00045-9

Limon-Ortega, A., Sayre, K.D., Francis, C.A. 2000. Wheat nitrogen use efficiency in a bed planting system in northwest Mexico. *Agronomy Journal*, 92, pp.303–308. https://doi.org/10.2134/agronj2000.922303x

Mohammadpour, P., Arjmandi, R., Hassani, A.H. and Ghodusi, J. 2022. Investigating the effect of agricultural use on nitrate concentration in underground water sources using mathematical modeling based on regression equations (case study: Ray Plain). *Journal of Sustainability, Development and Environment*, 3(3), pp.1-14.

Moll, R.H., Kamprath, E.J. and Jackson, W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, 74 (3), pp.562-564. https://amar.maj.ir/page-amar/FA/65/form/pId3352

Muurinen, S., Slafer, G.A. and Peltonen-Sainio, P. 2006. Breeding effects on nitrogen use efficiency of spring cereals under northern conditions. *Crop Science*, 46(2), pp.561-568. https://doi.org/10.2135/cropsci2005-05-0046

Muurinen, S., Kleemola, J. and Peltonen-Sainio, P. 2007. Accumulation and translocation of nitrogen in spring cereal cultivars differing in nitrogen use efficiency. *Agronomy Journal*, 99(2), pp.441-447. https://doi.org/10.2134/agronj2006.0107

Nassir, S.H. 2001. Response of barley (*Hordeum volgare* L.) at various stages to salt stress. *Journal of Biological Sciences*, 1(5), pp.326-329. https://doi.org/10.3923/jbs.2001.326.329

Omidi, M. 2002. Evaluation of agronomic and biochemical characteristics of barley cultivars. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 32(4), pp.773-783. [In Persian].

Ommani, A.R. and Chizari, M. 2006. Determining social economical and farming characteristics of wheat farmers regarding adoption of low input sustainable agriculture (LISA) in Khuzestan province. *Journal of Crop Production and Processing*, 10(1), pp.107-120. [In Persian].

Pearson, K. 1901. On lines and planes of closest fit to systems of point in space. *The London, Edinburgh, and*

Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 2(11), pp.559-572. https://doi.org/10.1080/14786440109462720

Sadeghi PourMarvi, M. 2010. Nitrogen use efficiency of spinach. *Jornal of Water and Soil*, 24(2), pp.244-253. https://doi.org/10.22067/JSW.V0I0.3241

Shanahan, J.F., Kitchen, N.R., Raun, W.R. and Schepers, J.S. 2008. Responsive in-season nitrogen management for cereals. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(1), pp.51-62. https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.06.006

Sheikh, F., Sekhavat, R. and Aghajani. M.A. 2023. Evaluation of resistance to leaf spot diseases and yield characteristics in faba bean genotypes through cluster analysis and genotype by trait biplot. *Journal of Crop Breeding*, 14(44), pp.131-146. https://doi.org/10.52547/jcb.14.44.131

Yan, W. and Hunt, L.A. 2001. Interpretation of genotype × environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science*, 41(1), pp.19-25. https://doi.org/10.2135/cropsci2001.41119x

Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S. and Cornelius, P.L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47(2), pp.643-653. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374